



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 14 206 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
**G 05 B 23/00**  
G 01 D 21/00  
G 05 B 17/00

②1 Aktenzeichen: 101 14 206.4  
②2 Anmeldetag: 23. 3. 2001  
④3 Offenlegungstag: 29. 11. 2001

DE 101 14 206 A 1

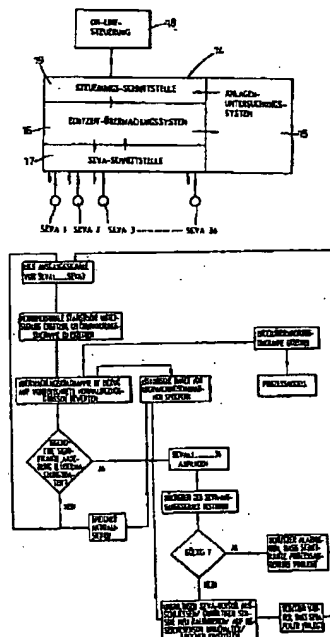
③0 Unionspriorität:  
00070656 23. 03. 2000 GB  
⑦1 Anmelder:  
Simsci Ltd. InvenSys House, London, GB  
⑦4 Vertreter:  
HOFFMANN · EITLE, 81925 München

⑦2 Erfinder:  
Henry, Manus Patrick, Oxford, GB; Sandoz, David  
James, Wales, GB; Clarke, David William, Oxford,  
GB

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Überwachung und Steuerung von Prozessen unter Verwendung selbstüberprüfender Sensoren

⑤7 Ein (hierarchisches) Prozessüberwachungssystem mit mehreren Niveaus weist eine Prozessüberwachungseinheit (14) auf auf einem höheren Niveau des Systems und mehreren Sensoren (SEVA1, SEVA2 ... SEVA36) auf einem niedrigeren Niveau des Systems, wobei zumindest einer der Sensoren die SEVA-Fähigkeit (Selbstüberprüfungsfähigkeit) aufweist, die Sensoren dazu ausgebildet sind, jeweilige Messwerte jeweiliger Prozessvariablen der Überwachungseinheit zur Verfügung zu stellen, die Überwachungseinheit so ausgebildet ist, dass sie die Ausgangssignale der Sensoren überwacht, und jede signifikante, deutliche Änderung in den Prozessbedingungen identifiziert, wie sie aus einem Überblick der Sensorausgangssignale festgestellt werden, und bei Feststellung einer deutlichen, signifikanten Änderung zusätzliche Statusinformationen von zumindest einem der SEVA-Sensoren anfordert, um festzustellen, ob die deutliche Änderung in der Realität infolge der Änderung einer Eigenschaft eines bestimmten SEVA-Sensors auftritt, statt infolge einer aktuellen, signifikanten Änderung der Prozessbedingungen.



DE 101 14 206 A 1

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Überwachung und Steuerung von Prozessen unter Verwendung selbstüberprüfender Sensoren.

[0002] Der Begriff "Prozess" wird hier in seinem weiten Sinn auf dem Gebiet der Regeltheorie verwendet, und soll daher gesteuerte oder geregelte Geräte, Anlagen und gesteuerte und geregelte Systeme allgemein umfassen.

[0003] Das Modell für selbstüberprüfende Sensoren (SEVA)-Sensoren wurde von Henry und Clarke (1993) vorgeschlagen. Es legt fest, dass jeder Sensor sämtliche verfügbare Information benutzen soll, um die folgenden Standardmetriken für jede Messung zu erzeugen:

Überprüfter Messwert (VMV): Dies ist der beste Messwert für die Schätzung, der vom Sensor unter den momentanen Umständen bereitgestellt werden kann. Hierin ist enthalten, dass der Sensor Eigendiagnosefähigkeit aufweisen sollte, und versucht, die Auswirkungen irgendwelcher Fehler auf die "Rohmessung" so weit wie möglich zu korrigieren.

[0004] Überprüfte Ungenauigkeit (W): Wenn eine berichtete Messung M eine Ungenauigkeit von  $\delta M$  aufweist, dann sollte per definitionem der wahre Wert der Messung Mtrue in folgendem Bereich liegen

$$M - \delta M \leq M_{true} \leq M + \delta M$$

mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (typischerweise 95%). Verfahren zur Bestimmung der Messungenauigkeit unter verschiedenen Bedingungen finden sich in Yang (1994). Es wird darauf hingewiesen, dass bei Vorhandensein eines Fehlers von einem SEVA-Sensor nicht nur verlangt wird, den VMV zu korrigieren, sondern auch die VU einzustellen, um die Verringerung der Konfidenz der korrigierten Ablesung zu berücksichtigen.

[0005] MV-Status: Dieser spiegelt das Vorhandensein und das weitere Vorliegen irgendeines Sensorfehlers wieder, und zeigt an, wie der VMV erzeugt wird. Der MV-Status kann einen der folgenden Werte annehmen:

Deutlich: Die Konfidenz bezüglich der "Rohmessung" ist nominell und der VMV wird nur aus der momentanen "Rohmessung" erzeugt.

[0006] Verschmiert: Es wurde ein Fehler diagnostiziert, und dieser beeinträchtigt die Messfähigkeit. Der VMV wird durch Kompensation der momentanen "Rohmessung" erzeugt.

[0007] Geblendet: Die "Rohmessung" ist im wesentlichen anormal, und ihre zugehörige Konfidenz ist Null, jedoch wird der Fehler als temporär angesehen (beispielsweise eine Spitze). Der VMV wird aus der Vergangenheit des Gerätes erzeugt.

[0008] Blind: Es wurde ein Fehler diagnostiziert, der die Messfähigkeit des Sensors zerstört. Es gibt in Bezug auf die "Rohmessung" keine Konfidenz. Der VMV wird aus der Vergangenheit des Gerätes erzeugt.

[0009] Sicher: Der VMV wird durch Kombination redundanter SEVA-Messungen erhalten. Die Konfidenz bezüglich jeder SEVA-Messung ist nominell.

[0010] Ungeprüft: Es findet keine Überprüfung statt.

[0011] Die Implementierung einer SEVA-Version des Sensors für aufgelösten Sauerstoff Foxboro 871 Typ Clark wird von Clarke und Fraher (1995) beschrieben.

[0012] Die Steuerung unter Verwendung selbst überprüfender Sensoren wurde von J.C.-Y. Yang und D.W. Clarke (1966) diskutiert. Es wurde vorgeschlagen, dass im Falle einer einfachen Rückkopplungsschleife, in welcher ein SEVA-Sensor das Rückkopplungssignal zur Verfügung stellt, es möglich sein sollte, die Metriken dazu zu verwenden,

den, Strategien auszuwählen, um in geeigneter Weise auf Sensorfehler und ungünstige Betriebsbedingungen zu reagieren. Falls nicht nur die Art des Fehlers, sondern auch die Grenzen für den restlichen Fehler, von dem SEVA-Sensor geliefert werden können, dann kann es möglich sein, dass die Steuerung entscheidet, ob der Effekt des Fehlers ausreichend groß ist, eine Neuabstimmung oder Rekonfiguration der Steuerung vornehmen zu müssen.

[0013] In der Praxis benötigen die meisten Prozesse für eine effektive Steuerung die Überwachung einer großen Anzahl an Anlagenvariablen, was die Verwendung einer großen Anzahl von Sensoren mit sich bringt, also Sendern für Prozessvariable. Es wurden bislang noch keine Steuersysteme für die Praxis entwickelt, welche vollständig die Metriken der SEVA-Messungen nutzen können. So ist zum Beispiel ein relativ hoch entwickeltes Anlagenüberwachungssystem das CONNOISSEUR™-Anlagenüberwachungssystem, Version 14.00, das von Simsci Limited in Stockport, England, verkauft wird. Das CONNOISSEUR™ 14.00-Überwachungssystem kann zwar dafür eingesetzt werden, eine relativ komplizierte Anlage zu überwachen, beispielsweise eine katalytische Fließbett-Crack-Einheit, jedoch konnte es nicht vollständig SEVA-Metriken von dem typischerweise mehr als 30 Sensoren nutzen, die zur Überwachung einer derartigen Anlage erforderlich sind.

[0014] Wir meinen, dass ein Bedürfnis nach einem Prozessmonitor besteht, der in Wechselwirkung mit einem oder mehreren SEVA-Sensoren treten kann, um zwischen aktuellen Änderungen im Prozessbetrieb und Fehlerzuständen in einem oder mehreren der SEVA-Sensoren in einem hierarchischen System unterscheiden zu können.

[0015] Gemäß einer Zielrichtung der vorliegenden Erfindung umfasst ein Prozessüberwachungssystem mit mehreren Ebenen (hierarchisch) eine Prozessüberwachungseinheit, auf einem höheren Niveau des Systems, und mehrere Sensoren, wobei zumindest einer der Sensoren SEVA-Fähigkeiten aufweist, auf einem niedrigen Niveau des Systems, wobei die Sensoren so ausgebildet sind, dass sie jeweilige Messwerte jeweiliger Prozessvariablen der Überwachungseinheit zur Verfügung stellen, und die Überwachungseinheit so ausgebildet ist, dass sie die Ausgangssignale der Sensoren überwacht, und jede signifikante, deutliche Änderung der Prozessbedingungen identifiziert, wie sie aus einer Übersicht der Sensorausgangssignale festgestellt werden, und bei Feststellung einer deutlichen, signifikanten Änderung zusätzliche Statusinformation von zumindest einem der SEVA-Sensoren anfordert, um zu bestimmen, ob die deutliche Änderung in der Realität in Folge einer Änderung der Eigenschaften eines bestimmten SEVA-Sensors auftritt, statt in Folge einer aktuellen, signifikanten Änderung der Prozessbedingungen.

[0016] Das Prozessüberwachungssystem weist vorzugsweise ein oder mehrere Betätigungsglieder auf, um Prozessänderungen durchzuführen, und die Betätigungsglieder sind vorzugsweise so angeordnet, dass sie die Überwachungseinheit mit Betätigungsgliedpositionssignalen versorgen.

[0017] Vorzugsweise sind die meisten der Sensoren SEVA-Sensoren.

[0018] Die Überwachungseinheit implementiert vorzugsweise eine mehrdimensionale statistische Untersuchung der Messwerte der Sensoren, und vergleicht die Ergebnisse dieser Untersuchung mit Bezugsinformation, um jede signifikante, deutliche Änderung der Prozessbedingungen zu identifizieren, um zu bestimmen, ob die Abfrage des SEVA-Sensors oder der SEVA-Sensoren eingeleitet werden soll.

[0019] Die Bezugsinformation besteht vorzugsweise aus Vorhersagen eines Modells und historischen Daten gespeicherter statistischer Untersuchungen. Daher werden sowohl

die Vorgeschichte als auch Modellvorhersagen vorzugsweise als die Grundlagen zur Charakterisierung eines "normalen Prozessbetriebs" verwendet.

[0020] Das Modell nutzt vorzugsweise Betätigungsgliederpositionsinformation.

[0021] Zur Vereinfachung wird nachstehend gelegentlich mit "Abfrage" eines SEVA-Sensors der Prozess der Anforderung zusätzlicher Statusinformation von dem SEVA-Sensor bezeichnet.

[0022] Obwohl die Abfrage häufig die bloße Untersuchung zumindest einiger der üblichen Sensorausgangssignale des SEVA-Sensors betreffen kann, kann bei anderen Gelegenheiten, abhängig von der Art des SEVA-Sensors, die Abfrage den Einsatz eines Tests, der keine Routine darstellt, in oder bei dem SEVA-Sensor umfassen. Wenn beispielsweise der SEVA-Sensor ein Thermoelement zur Messung der Temperatur aufweist, kann die Abfrage das Anlegen eines Stroms an den Sensor umfassen, um den Sensor zu erwärmen, um zu bestimmen, ob ein guter Wärmekontakt vorhanden ist. Ein derartiger Test würde normalerweise nicht von der internen Software der SEVA-Sensors eingeleitet werden, da der Test direkt das prinzipielle Ausgangssignal des Sensors beeinflusst. Einige Tests verringern die Lebensdauer eines SEVA-Sensors, und werden daher nicht routinemäßig durchgeführt, oder nur relativ selten.

[0023] Daher stellt die Erfindung Wechselwirkungen zwischen der Überwachungseinheit auf dem höheren Niveau und dem SEVA-Sensor bzw. den SEVA-Sensoren auf dem niedrigeren Niveau zur Verfügung, bei welchen die Feststellung einer deutlichen, signifikanten Änderung des Prozessbetriebs durch die Überwachungseinheit die Abfrage eines oder mehrerer der SEVA-Sensoren einleitet, und die sich ergebenden Änderungen der SEVA-Sensorausgangssignale dann von der Überwachungseinheit untersucht werden, um festzustellen, ob die wahrgenommene Änderung eine aktuelle Prozessänderung ist. Falls die Überwachungseinheit feststellt, dass die wahrgenommene Änderung eine aktuelle Änderung der Prozessbedingungen ist, dann führt dies vorzugsweise dazu, ein Alarmsignal bereitzustellen, dass an eine Bedienungsperson gerichtet ist und/oder zu einem versuchten Korrekturvorgang durch eine Prozesssteuereinheit führen kann.

[0024] Gemäß einer zweiten Zielrichtung der Erfindung stellen wir eine Prozessüberwachungseinheit zur Verfügung, die zur Verwendung in einem Prozessüberwachungssystem angepasst ist, gemäß der ersten Zielrichtung der Erfindung.

[0025] Obwohl die Erfindung bei Prozessen einsetzbar ist, bei denen die verschiedenen Sensoren unterschiedliche Variablen messen, ist die Erfindung auch in Situationen einsetzbar, bei denen zumindest einige SEVA-Sensoren dieselbe Variable messen, und die SEVA-Messungen (VMV, VU und MV-Status) derselben Variablen vereinigt werden, um einen besten Schätzwert zu erzeugen.

[0026] Nunmehr werden nur als Beispiele einige Beispiele hierarchischer Steuersysteme gemäß der Erfindung beschrieben, unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen. Es zeigt:

[0027] Fig. 1 ein Diagramm eines hierarchischen Temperaturüberwachungssystems, welches drei SEVA-Thermoelemente zur Überwachung der Temperatur desselben Prozessparameters verwendet;

[0028] Fig. 2 die SEVA-Sensorfusion im allgemeinen, wie sie im Anhang 1 beschrieben ist;

[0029] Fig. 3 schematisch für die Zwecke des Anhanges 1 das Problem der maximalen Clique;

[0030] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Überwachungs- und Steuersystems für einen komplizierten Prozess, welches eine mehrdimensionale statistische Untersu-

chung von SEVA-Ausgangssignalen verwendet, und den Einsatz eines Prozessmodells;

[0031] Fig. 5 ein Flussdiagramm der hauptsächlichen Funktionen, die von der Hauptüberwachungseinheit des Systems von Fig. 4 durchgeführt werden;

[0032] Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Prozessmodells einer katalytischen Fließbett-Crack-Einheit, die in dem Prozessmodellabschnitt des Systems von Fig. 4 enthalten ist;

[0033] Fig. 7 ein Flussdiagramm der Überwachungssoftware des Systems von Fig. 4; und

[0034] Fig. 8 ein Qualitätssteuerdiagramm des momentanen Prozessbetriebs, das von der Überwachungseinheit des Systems von Fig. 4 erzeugt wird.

[0035] In Fig. 1 sind drei Thermoelement-SEVA-Sensoren 1, 2 und 3 auf einem unteren Niveau des (hierarchischen) Systems mit mehreren Niveaus dazu fähig, ein jeweiliges VMV-, VU- und Status-Ausgangssignal an eine Überwachungseinheit 4 zu liefern, welche die Funktion eines SEVA-Sensorfusionsblocks in der Hinsicht durchführt, dass sie die Ausgangssignale der Sensoren 1, 2 und 3 "verschmilzt", um ein einziges Ausgangssignal 5 (von VMV, VU und Status) an PC-Konsolen 6 und 7 zu liefern, und Konsistenzmarken 8, 9 und 10 zur Verfügung stellt. Die Sensoren 1, 2 und 3 überwachen denselben Prozessparameter, also die Temperatur.

[0036] Jede Thermoelementkarte kann VMV-, VU- und Status-Daten für das zugehörige Thermoelement erzeugen. Beispielsweise kann die Thermoelementkarte 1 VMV-, VU-, und Status-, Ausgangssignale für die Überwachungseinheit 4 erzeugen.

[0037] Das Verfahren der Verschmelzung der Ausgangssignale der Sensoren 1, 2 und 3 und die Erzeugung von Konsistenzmarken sind im Anhang 1 beschrieben.

[0038] Wenn eine Konsistenzmarke in Reaktion auf die Feststellung der Überwachungseinheit 4 erzeugt wird, dass ein Ausgangssignal eines der Thermoelementsensoren 1, 2 und 3 mit den entsprechenden Ausgangssignalen der beiden anderen Karten nicht verträglich ist, so wird die Konsistenzmarke dazu veranlasst, das jeweilige verdächtige Thermoelement abzufragen. In Reaktion auf eine Anforderung von dem höheren Niveau wird ein Stromzufuhrtest bei dem verdächtigen Thermoelement eingeleitet, um einen Kontaktverlust mit dem Prozess festzustellen. Ein derartiger Test ist so in das SEVA einprogrammiert, dass er standardmäßig einmal pro Stunde durchgeführt wird.

[0039] Wenn als Ergebnis des Stromzufuhrtests der verdächtige Thermoelementsensor feststeht, dass er den Kontakt mit dem Prozess verloren hat, dann schaltet er seinen MV-Status auf blind. Die Software in der Einheit 4 stellt dann fest, dass zumindest für einen vorbestimmten Zeitraum das Ausgangssignal des verdächtigen Thermoelements ignoriert wird und das Ausgangssignal 5 nimmt dann die Form der vereinigten Ausgangssignale der beiden anderen Thermoelemente an. Anstatt die Markenausgangssignale 8, 9, 10 dazu zu verwenden, die verdächtigen Thermoelemente abzufragen oder zusätzlich hierzu, können die Markenausgangssignale dazu verwendet werden, es einer Bedienungsperson anzuzeigen, dass einer der SEVA-Sensoren neu kalibriert werden muss, oder Empfehlungen an eine zugehörige Prozesssteuerung abzugeben.

[0040] Der Fusionsblock auf höherem Niveau reagiert daher auf das Blindsignal, das von dem SEVA-Sensor auf dem niedrigeren Niveau kommt.

[0041] Fig. 4 zeigt schematisch ein Prozessüberwachungssystem, welches zur Überwachung eines komplizierten Prozesses eingesetzt werden kann, beispielsweise einer katalytischen Fließbett-Crack-Einheit (FCCU), und die

Ausgangssignale von 36 SEVA-Sensoren nutzen kann, die mit SEVA1, SEVA2 - - - SEVA36 bezeichnet sind, und jeweils auf 36 gemessene Variablen des Prozesses reagiert, die durch eine On-Line-Steuerung gesteuert werden, und auf Positionsausgangssignale von Betätigungsgliedern, die nicht dargestellt sind. Die wesentlichen Funktionen der Überwachungseinheit in Bezug auf die Konfiguration und Nutzung eines Anlagenmodells sind in Fig. 5 gezeigt. Das Anlagenmodell, das im Falle einer FCCU verwendet wird, ist in Fig. 6 gezeigt, und wird von McFarlane (1993) beschrieben.

[0042] Wie aus Fig. 4 hervorgeht, wird das Anlagenmodell durch den Abschnitt des Anlagenuntersuchungssystems 15 des Monitors 14 implementiert. Das Echtzeit-Überwachungssystem 16 steht auf die in Fig. 5 gezeigte Weise in Wechselwirkung mit dem Anlagenuntersuchungssystem 15.

[0043] Der Echtzeit-Überwachungssystemabschnitt 16 des Monitors 14 ist mit den Sensoren SEVA1 bis SEVA36 über eine SEVA-Schnittstelle 17 verbunden und mit einer On-Line-Steuerung 17 über eine Steuerungsschnittstelle 19.

[0044] Das Echtzeitüberwachungssystem 16 enthält Software, die in Fig. 7 dargestellt ist, um die Gültigkeit der Ausgangssignale der Sensoren SEVA1 bis SEVA36 zu überwachen, und im Falle der Feststellung einer deutlichen, signifikanten Änderung bei dem Prozess, die SEVA-Sensoren abzufragen.

[0045] Der Vergleich des Zustands des Prozesses mit früheren Zuständen des Prozesses wird in dem Echtzeit-Überwachungssystem 16 durch eine mehrdimensionale Statistik durchgeführt, welche eine Untersuchung des Typs partieller kleinster Quadrate (PLS) verwendet. Derartige Vorgehensweisen sind beschrieben in MacGregor, 1991, 1995 und Morud 1996 sowie Kresta 1991. Eine verbesserte Untersuchung des Typs erweiterte partielle kleinste Quadrate (EPLS) ist in unserer gleichzeitig anhängigen Anmeldung mit demselben Datum betitelt "Mehrdimensionale statistische Prozessmonitore" beschrieben, und diese Vorgehensweise ist besonders gut zum Einsatz in dem System von Fig. 4 der vorliegende Anmeldung geeignet. Die Offenbarung dieser gleichzeitig anhängigen Anmeldung wird hierdurch durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung eingeschlossen.

[0046] Offensichtlich stellt die frühe und verlässliche Feststellung von Prozessanomalitäten die potentielle Möglichkeit zur Verfügung, teure Vorfälle zu vermeiden, welche den normalen Prozessbetrieb unterbrechen können. Unter Verwendung einer derartigen, fortgeschrittenen mehrdimensionalen Statistik ist es möglich, Anomalitäten zu identifizieren, die anderenfalls nicht deutlich werden würden. Die Einheit 14 enthält einen Werkzeugkasten derartiger statistischer Techniken für die Überwachung und Feststellung von Anomalitäten in Prozessbetriebsdaten. Der Installierer des Systems ist dazu fähig auszuwählen, welche dieser statistischen Techniken für die mehrdimensionale statistische Untersuchung eingesetzt werden sollen.

[0047] Im Abschnitt 15 der Einheit 14 wird ein mehrdimensionales statistisches Modell eines Prozesses unter normalen Betriebsbedingungen in eine Off-Line-Untersuchung erzeugt. Das Modell enthält vorzugsweise Betätigungsgliederpositionskennntnis. Verfügbare Techniken in der Einheit 14 für diesen Zweck umfassen Hauptkomponentenanalyse für das zugrunde liegende Prozessmodell und Kerndichteverfahren für statistische Untersuchungen. In Echtzeit werden diese Techniken dazu verwendet, das aktuelle Prozessverhalten mit dem erwarteten normalen Verhalten zu vergleichen, wie es vom Modell vorhergesagt wird, und wie es sich aus historischen Daten gespeicherter statistischer Untersuchungen ergibt.

[0048] Zwei der drei Haupttechniken, welche die Einheit

14 zur Verfügung stellt, sind Datenkompression und Modellernalgorithmen. Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) untersucht viele Prozessvariable, und identifiziert wesentliche Korrelationen zwischen ihnen. Sie erzeugt dann eine erheblich kleinere Gruppe an Variablen, als "Komponenten" bezeichnet, welche den Hauptanteil der Information beibehalten, die in den ursprünglichen Prozessmessungen enthalten ist. Die Beziehung zwischen neuen Prozessmessungen und den erzeugten Komponenten kann überwacht werden, um eine Änderung der zugrunde liegenden Beziehungen festzustellen, welche verantwortlich für den Prozess sind.

[0049] Der zweite Datenkompressionsalgorithmus wird als partielle kleinste Quadrate (PLS) verwendet, und verwendet eine Modellierung des Typs kleinster Quadrate (LS), um die Beziehung zwischen Prozesseingaben und Prozessausgaben zu identifizieren.

[0050] Er komprimiert ebenfalls die Prozessvariablen, unterscheidet jedoch, anders jedoch als PCA, zwischen Eingaben und Ausgaben. Die internen Variablen, die als "latente Variablen" bekannt sind, werden unter Verwendung einer Abänderung der LS-Modellierung modelliert, und können überwacht werden, um Änderungen bei dem Prozess festzustellen.

[0051] Kreuzüberprüfung wurde für diese beiden Algorithmen vorgesehen, um die Auswahl von Komponenten und latenten Variablen zu unterstützen. Flexibilität ist durch Benutzerauswahl wesentlicher Parameter gegeben, beispielsweise der Anzahl an Datensegmenten, die überprüft werden sollen.

[0052] Traditionelle MSPC-Indikatoren, beispielsweise die  $T^2$ - und Q-Statistiken, wurden ebenfalls vorgesehen. Diese werden direkt von dem PCA- und PLS-Maschinen abgeleitet, und stellen etablierte Qualitätsmaßnahmen im akademischen Bereich dar.

[0053] Zwei Kennzeichnungsmaschinen sind in der Einheit 14 enthalten, welche es dem Benutzer gestatten, einen anormalen Prozessbetrieb festzustellen. Sowohl die elliptische Dichteabschätzung (EDE) als auch die Kerndichteabschätzung (KDE) verwenden historische Daten von dem Prozess zur Ausbildung einer Definition eines "normalen" Prozessbetriebs. Es wird vorgezogen, diese Algorithmen zusammen mit PCA oder PLS einzusetzen, um die Fähigkeit der Einheit 14 noch weiter zu erhöhen, einen anormalen Prozessbetrieb festzustellen.

[0054] Die primären Fehlerindikatoren können auf Qualitätssteuerdiagrammen (Fig. 8) dargestellt werden. Das Vorhandensein einer Prozessanomalität kann dadurch angezeigt werden, dass eines dieser Diagramme die Schwellenwertgrenze von 99% überschreitet. Zu diesem Punkt wird ein Alarm ausgelöst und werden die SEVA-Sensoren abgefragt und werden möglicherweise angewiesen, detailliertere Diagnoseüberprüfungen durchzuführen. Wenn keiner der Sensoren ein Problem anzeigt, wird ein Prozessfehler angenommen (also statt eines Instrumentenfehlers), und wird ein Alarmsignal ausgelöst. Die Diskrepanz zwischen Prozessmessungen und den Modellvorhersagen kann beseitigt werden, um Beiträge von jeder der gemessenen Variablen anzuzeigen, für eine mehr in die Tiefe gehende Fehlerdiagnose.

## ANHANG 1

### Definition der SEVA-Sensorfusion

[0055] Die SEVA-Sensorfusion findet statt, wenn zwei oder mehr unabhängige SEVA-Messungen (VMV, VU und MV-Status) desselben Prozessparameters vereinigt werden, um eine beste Schätzung zu erzeugen (Fig. 2). Zusätzlich können Konsistenzmarken erzeugt werden, um zusätzliche

Diagnostetests innerhalb Instrumenten auszulösen, die mit der Mehrheit nicht verträglich sind. Es ist selbstverständlich wünschenswert, dass die SEVA-Fusion ein im wesentlichen automatischer Prozess ist, der nur auf den eingegebenen SEVA-Variablen beruht, und minimale Abstimmung oder Konfiguration erfordert, so dass ein Standardfunktionsblock immer dann verwendet werden kann, wenn eine Sensorfusion benötigt wird.

#### Überblick über das Verfahren

[0056] Das "Modell" des Parameters in der realen Welt, der bestimmt werden soll, ist einfach eine einzige, kontinuierliche Variable. Das Modell der Messunsicherheit ist jenes, das von der Messtechnik bereitgestellt wird: Jeder VMV wird mit einer VU geliefert, die Wahrscheinlichkeitsgrenzen von 95% in Bezug auf den Messfehler ergibt. Es wird darauf hingewiesen, dass der MV-Status jeder Eingangsvariablen nur bei der Zuordnung des Status zur Ausgangsvariablen verwendet wird; anderenfalls wird er ignoriert.

[0057] Eine Veröffentlichung von Moffat (1982) schlägt eine Konsistenzüberprüfung für nur zwei Variablen vor: Sind  $x_1 \pm u_1$  und  $x_2 \pm u_2$  gegeben, so weist ihre Differenz  $y = x_1 - x_2$  folgende Messunsicherheit auf:

$$\sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

[0058] Nimmt man jedoch an, dass  $x_1$  und  $x_2$  gute Schätzwerte für denselben Parameter darstellen, würde man annehmen, dass  $y$  "nahe" an Null liegt. Dies wird folgendermassen getestet:  
Für

$$|y| < \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

sind Messungen konsistent.

[0059] Anderenfalls sind Messungen nicht konsistent.

[0060] Es wird darauf hingewiesen, dass diese Regel konservativer ist als dann, wenn man einfach die Messunsicherheitsintervalle überlappen lässt. Es wird ebenfalls darauf hingewiesen, dass sich diese Regel nicht in irgendeiner Standardveröffentlichung finden lässt.

[0061] Wenn eine Gruppe von Messungen als konsistente Schätzwerte desselben Parameters angesehen wird, dann können sie entsprechend verschiedenen Standards auf die übliche Art und Weise vereinigt werden, und mit dem Kehrwert des Quadrats ihrer Messunsicherheit gewichtet werden; Formeln hierfür sind hier nicht angegeben.

[0062] Betrachtet man mehr als zwei Messungen, treten verschiedene Schwierigkeiten auf, da sich zwar die Regel zum Kombinieren von Messungen einfach ausdehnen lässt, dies jedoch nicht für die Konsistenzüberprüfung gilt, da die Beziehung nicht assoziativ ist. Wenn beispielsweise A konsistent zu B ist und B zu C, folgt hieraus nicht, dass A mit C konsistent ist.

[0063] Wenn eine Gruppe von  $n$  Messungen vorhanden ist, was soll man tun? Eine vernünftige Strategie könnte darin bestehen, die größte Untergruppe gegenseitig konsistenter Messungen auszuwählen, und diese als die konsistente Gruppe festzulegen. Es lässt sich zeigen, dass dies dem Problem der maximalen Clique in der Graphentheorie (gezeigt in Fig. 3) entspricht. Ist daher eine Gruppe von Knoten und Bögen vorgegeben, wird die maximale Untergruppe an Knoten (schraffiert) mit der Eigenschaft gesucht, dass jeder Knoten mit dem anderen verbunden ist. Wenn hier der Knoten eine Messung ist und jeder Bogen eine Konsistenzrelation, entspricht dies dem Konsistenzüberprü-

fungsproblem bei SEVA-Messungen.

[0064] Unglücklicherweise ist von diesem Problem bekannt, dass es schwer zu lösen ist, also eine mühsame Suche erforderlich ist, die mit zunehmender Anzahl an Variablen extrem beschwerlich wird. Die Literatur stellt eine Anzahl an Algorithmen zum Ermitteln der maximalen Clique zur Verfügung, von denen verschiedene für bestimmte Anwendungen optimiert sind (also zusätzliche Annahmen vorgenommen werden). Bislang ließ sich keine finden, welche zusätzliche Geschwindigkeit für die SEVA-Anwendung zur Verfügung stellt.

[0065] Sobald die maximale Clique gefunden wurde, kann allerdings der beste Schätzwert durch Kombination der Messungen und Messunsicherheiten aus der Clique berechnet werden.

#### Verhandlung von Ausreißern

[0066] Die Standardstrategie, Ausreißer bei der Berechnung nicht zu berücksichtigen, ist aus verschiedenen Gründen nicht zufriedenstellend:

- wegen der statistischen Art und Weise der Messunsicherheit besteht, selbst wenn sämtliche Messungen "Korrekt" sind, nur eine Chance von 95%, dass jedes Paar als konsistent angesehen wird. Es ist daher äußerst selten, dass sämtliche Messungen in der maximalen Clique liegen (Simulationsuntersuchungen haben dies bestätigt).

- Es ist unerwünscht Jitter bei den Ausgangsmessungen und Messunsicherheiten zu haben; dies tritt auf, wenn eine oder mehrere Eingaben nahe an einer Konsistenzschwelle liegen.

[0067] Glücklicherweise kann eine sehr einfache Strategie dazu verwendet werden, derartiges Jitter auszuschalten. Für jede Variable, die sich nicht innerhalb der maximalen Clique befindet, wird ihre "Entfernung" zur Konsistenz mit der Clique als Anteil ihrer eigenen Messunsicherheit berechnet. Ist die Entfernung groß (etwa  $> 2$ ), dann wird dies als Ausreißer betrachtet und ausgeschlossen. Ist sie jedoch kleiner, so wird ihre Messunsicherheit (für Fusionszwecke) vergrößert, damit sie gerade mit der Clique konsistent ist. Dies hat die Auswirkung, dass ihr Einfluss auf die Ausgangsmessung verringert wird, jedoch nicht ausgeschaltet wird.

[0068] Diese Vorgehensweise der Messunsicherheitsausdehnung ist auch unter anderen Umständen nötig: Es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass zu jedem gegebenen Zeitpunkt mehr als eine maximale Clique vorhanden ist. Dies wird durch ein einfaches Beispiel verdeutlicht: Bei drei Messungen, kann A mit B konsistent sein, und B mit C, jedoch nicht A mit C. Dies ergibt zwei maximale Cliquen {A, B} und {B, C}. Kurz gefasst wird dies so behandelt, dass eine einzige maximale Clique geschaffen wird, durch Ausdehnung der Messunsicherheiten jener Messungen, die nicht in jeder der ursprünglichen Cliquen liegen; bei dem Beispiel werden für A und C ihre Messunsicherheiten erhöht, und ihr Einfluss verringert, während B, welches beiden Cliquen angehört, unbeeinflusst bleibt. Hierdurch wird eine einzige, maximal konsistente Gruppe geschaffen.

#### Eine Abkürzung

[0069] Für alle Gruppen mit Ausnahme der kleinsten ist die Suche nach der maximalen Clique extrem Zeitaufwendig. Allerdings wurde ein Verfahren zum Approximieren der maximalen Clique gefunden, welches überlappende Intervalle anstelle des Moffat-Kriteriums verwendet. Dieses Ver-

fahren ist linear in  $n$ . Eine Messunsicherheitsausdehnung kann dazu verwendet werden, die Moffat-Konsistenz sicherzustellen, vor der Berechnung des besten, vereinigten Schätzwertes. Es lässt sich zeigen, dass der Nettoeffekt dieser Abkürzung ein geringfügig größeres Messunsicherheitsintervall bei der Ausgabe ist.

#### Zuordnung von MV-Status

[0070] Die Zuordnung des MV-Status ist einfach, wenn eine Verschmelzung von SEVA-Daten erfolgt, obwohl zwei Konfigurationsoptionen vorhanden sind, die vom Benutzer ausgewählt werden müssen:

- Wie viele konsistente deutliche Messungen sind erforderlich, um den Status sicher zuzuordnen, beispielsweise 2 von 3, oder 3 von 3, oder 4 von 5? (Nachwort: Infolge der hohen Wahrscheinlichkeit, dass Jitter die Konsistenz verringert, wird angenommen, dass eine derartige Zählung NACH der Messunsicherheitsausdehnung erfolgt, so dass nur ernsthafte Ausreisser ausgeschlossen werden).
- Was ist die maximal akzeptierbare Anzahl an konsistenten Messungen, unterhalb derer die Ausgangsmessung GEBLENDET oder BLIND wird, etwa 2 von 3 oder 3 von 5?

[0071] Im Betrieb wird die folgende Logik bei jeder Probe verwendet:

- Sind genug konsistente DEUTLICHE (oder SICHERE) Messungen in der konsistenten Gruppe vorhanden? Falls dies der Fall ist, wird der Status SICHER zugeordnet.
- Sind unzureichend konsistente Messungen vorhanden? Ist dies der Fall, ordnet man den Status GEBLENDET oder schließlich BLIND zu.
- Anderenfalls ordnet man einen Status gleich den besten Status innerhalb der konsistenten Gruppe zu (also DEUTLICH, wenn zumindest eine deutliche Messung vorhanden ist, anderenfalls VERSCHMIERT, wenn zumindest eine verschmierte Messung vorhanden ist, usw.). Die einzige Ausnahme bei dieser Regel besteht darin, dass selbst dann, wenn eine der Eingaben SICHER ist, die Ausgabe nur DEUTLICH sein kann.

[0072] Es wird darauf hingewiesen, dass dann, wenn der Ausgabe der Status GEBLENDET oder BLIND zugeordnet wird, dann die üblichen Regeln zur Zuordnung von VMV und VU gelten, so dass daher die statistischen Eigenschaften der Ausgangsvariablen überwacht werden sollten, so dass maximale beobachtete Änderungsraten und dgl. dazu verfügbar sind, um Messausgänge GEBLENDET oder BLIND zu berechnen.

#### LITERATUR

1. Henry M.P., and Clarke D.W., 1993 The self-validating sensor: Rational, definitions and examples. Control Engineering Practice 1 (4) pp 585-6102. Yang J.C.-Y. 1994 Self-validating Sensors. D. Phil thesis, Department of Engineering Science, University of Oxford
3. Yang J.C.-Y. and Clarke D.W., 1996 Trans Inst Mc Vol. 18 No. 1.
4. McFarlane R.C., Reineman R.C., Bartee J.F., Georgakis C., 1993, Dynamic Simulator for a Model IV Fluid Catalytic Cracking Unit, Computers in Chemical Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 275-300

5. MacGregor J.F., Marlin T.E., Kresta J., Skagerberg B., 1991, Multivariate Statistical Methods in Process Analysis and Control. AIChE Symposium Proceedings of the Fourth International Conference on Chemical Process Control, AIChE Publ. No. P-67, New York, pp. 79-99
6. Kresta J.V., MacGregor J.F., Marlin T.E., 1991, Multivariate Statistical Monitoring of Process Operating Performance, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 69, pp. 35-47
7. MacGregor J.F., Kourti T., 1995, Statistical Process Control of Multivariate Processes, Control Engineering Practise, Vol. 3, No. 3, pp 403-414
8. Morud T.E., 1996, Multivariate Statistical Process Control; Example from the Chemical Process Industry, Journal of Chemometrics, Vol. 10, pp. 669-675.
9. Moffat R.J., 1982, Contributions to the theory of single sample uncertainty analysis. ASME Journal of Fluid Engineering, Vol. 104, June 1982, pp. 250-260.

#### Patentansprüche

1. (Hierarchisches) Prozessüberwachungssystem mit mehreren Niveaus, das eine Prozessüberwachungseinheit aufweist, auf einem höheren Niveau des Systems, und mehrere Sensoren auf einem niedrigeren Niveau des Systems, wobei zumindest einer der Sensoren SEVA-Fähigkeiten (Selbstüberprüfungsfähigkeiten) aufweist, die Sensoren dazu ausgebildet sind, jeweilige Messwerte jeweiliger Prozessvariablen der Überwachungseinheit zur Verfügung zu stellen, die Überwachungseinheit so ausgebildet ist, dass sie die Ausgangssignale der Sensoren überwacht, und jede signifikante, deutliche Änderung der Prozessbedingungen identifiziert, wie sie aus einem Überblick der Sensorausgangssignale festgestellt werden, und bei Feststellung einer deutlichen, signifikanten Änderung zusätzliche Statusinformation von zumindest einem der SEVA-Sensoren anfordert, um festzustellen, ob die deutliche Änderung in der Realität in Folge einer Änderung der Eigenschaften eines bestimmten SEVA-Sensors aufgetreten ist, anstatt in Folge einer tatsächlichen, signifikanten Änderung der Prozessbedingungen.
2. Prozessüberwachungssystem nach Anspruch 1, welches ein oder mehrere Betätigungsglieder aufweist, um Prozessänderungen durchzuführen, wobei die Betätigungsglieder so angeordnet sind, dass sie die Überwachungseinheit mit Betätigungsgliedpositionssignalen versorgen.
3. Prozessüberwachungssystem nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem die meisten der Sensoren SEVA-Sensoren sind.
4. Prozessüberwachungssystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei welchem die Überwachungseinheit eine mehrdimensionale statistische Untersuchung der Messwerte der Sensoren durchführt und die Ergebnisse dieser Untersuchung mit Bezugsinformation vergleicht, um jede signifikante, deutliche Änderung der Prozessbedingungen zu identifizieren, um festzustellen, ob eine Abfrage des SEVA-Sensors bzw. der SEVA-Sensoren eingeleitet werden soll oder nicht.
5. Prozessüberwachungssystem nach Anspruch 4, bei welchem die Bezugsinformation aus Vorhersagen eines Modells und historischen Daten gespeicherter statistischer Untersuchungen besteht.
6. Prozessüberwachungssystem nach Anspruch 5, bei welchem das Modell Betätigungsgliedpositionsinformation verwendet.
7. Prozessüberwachungssystem, bei welchem die An-

forderung nach zusätzlicher Statusinformation den Einsatz eines Tests, der keine Routine ist, in oder bei zumindest einem der SEVA-Sensoren einleitet.

8. Prozessüberwachungssystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei welchem zumindest einige SEVA-Sensoren dieselbe Variable messen, und die SEVA-Messungen (VMV, VU und MV-Status) derselben Variablen vereinigt werden, um einen besten Schätzwert zu erzeugen.

9. Prozessüberwachungseinheit, die zum Einsatz in einem Prozessüberwachungssystem gemäß einem der voranstehenden Ansprüche ausgebildet ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

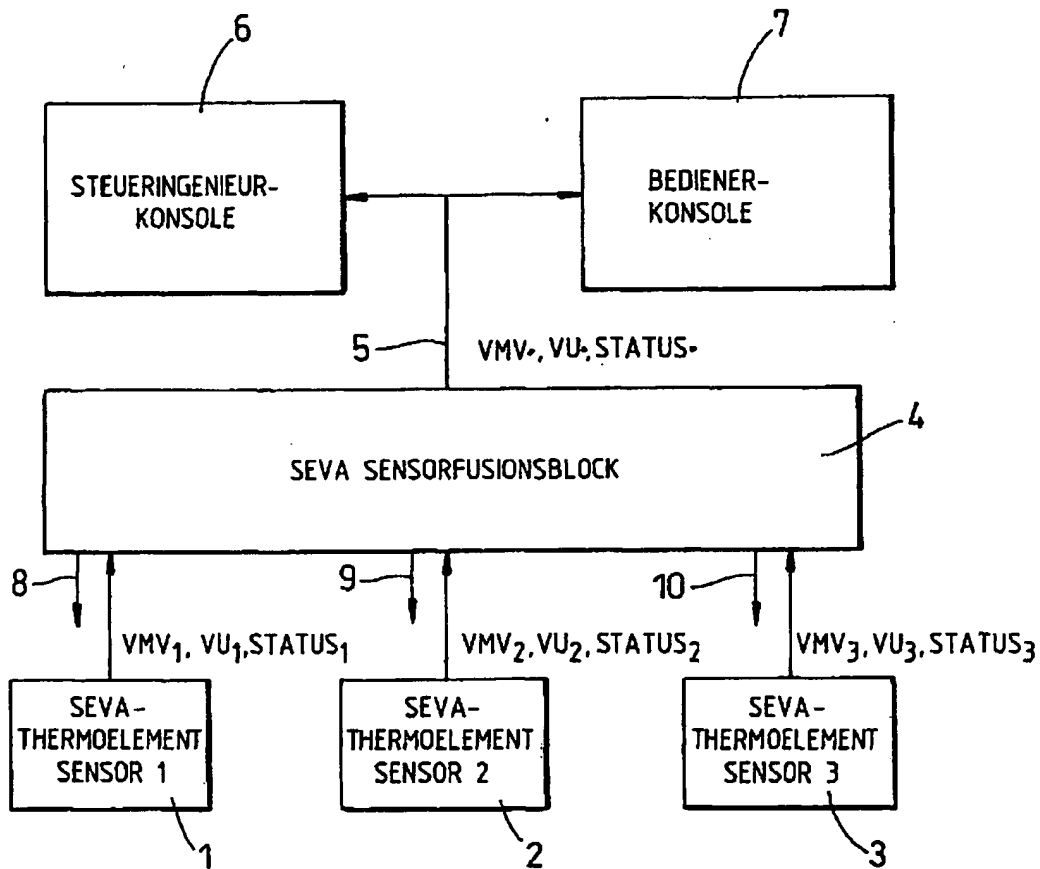
45

50

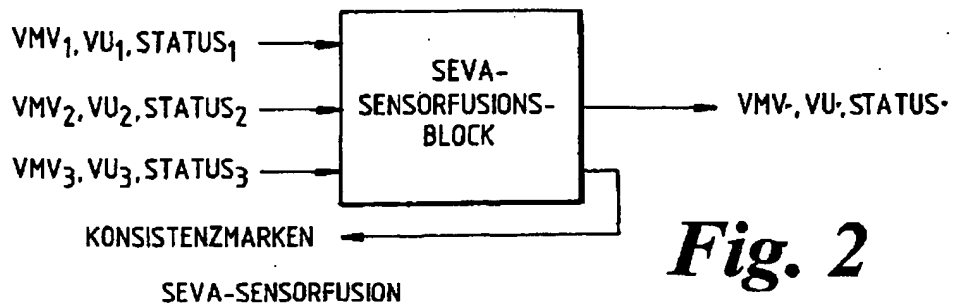
55

60

65

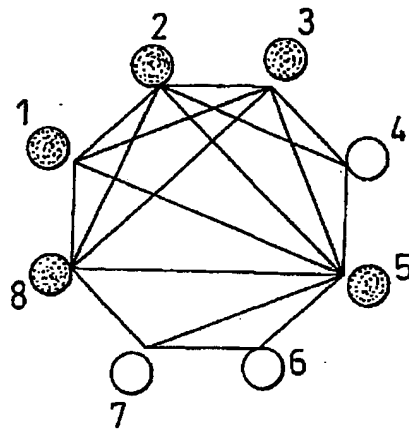


**Fig. 1**

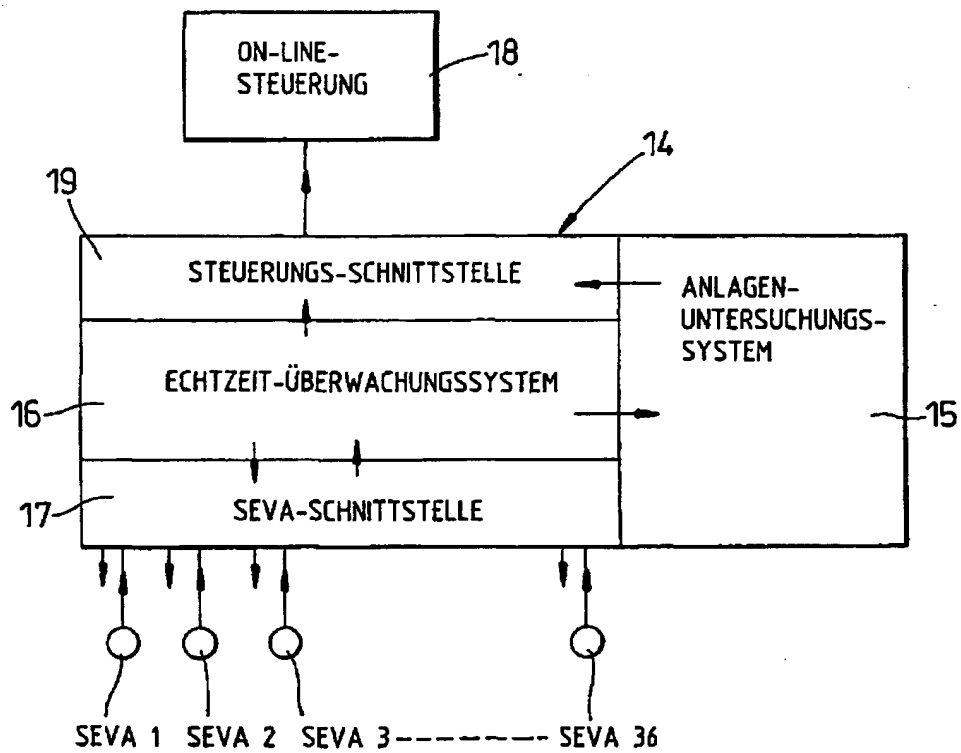


**Fig. 2**





**Fig. 3**



**Fig. 4**

## ECHTZEITSYSTEM 16

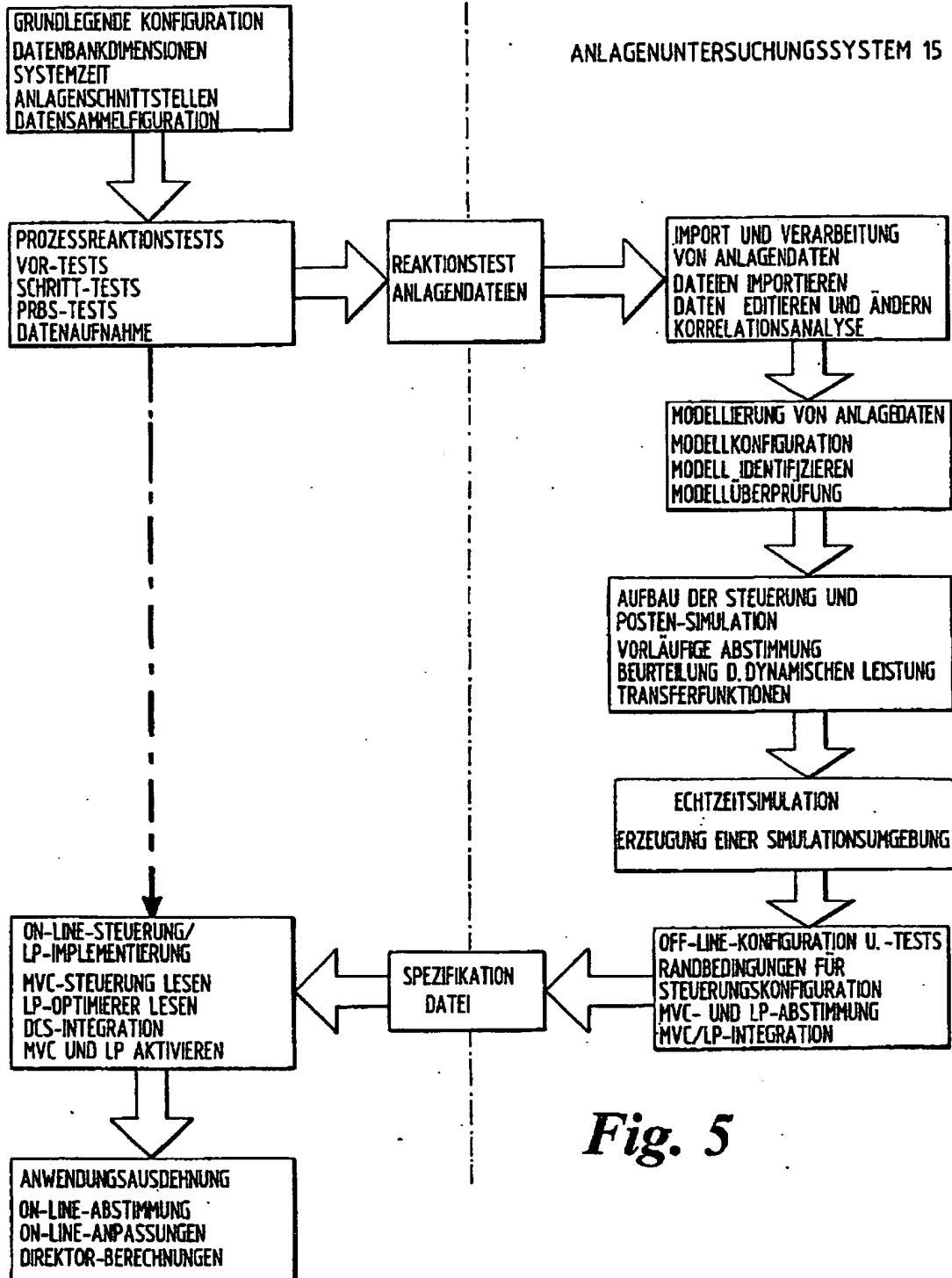


Fig. 5

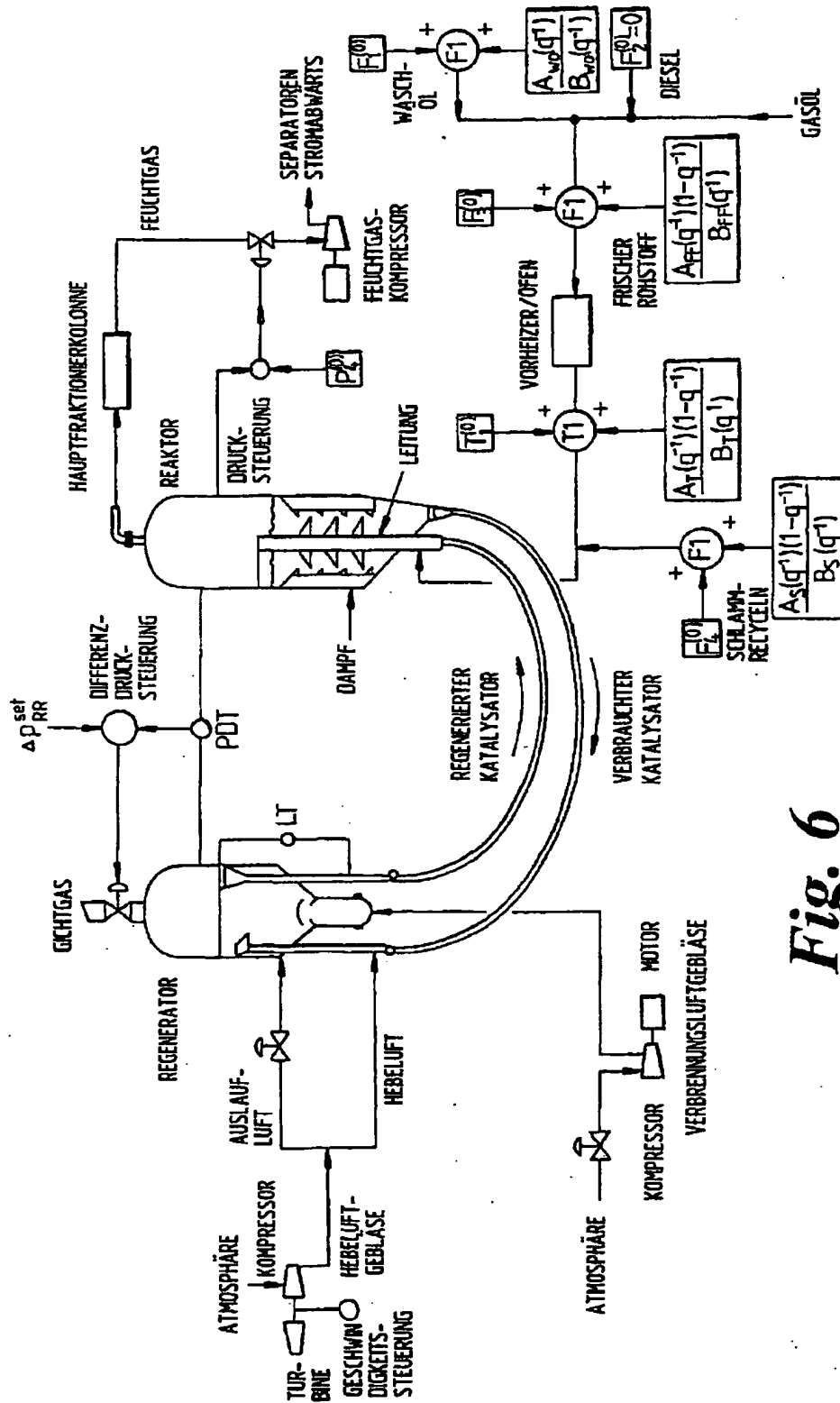


Fig. 6

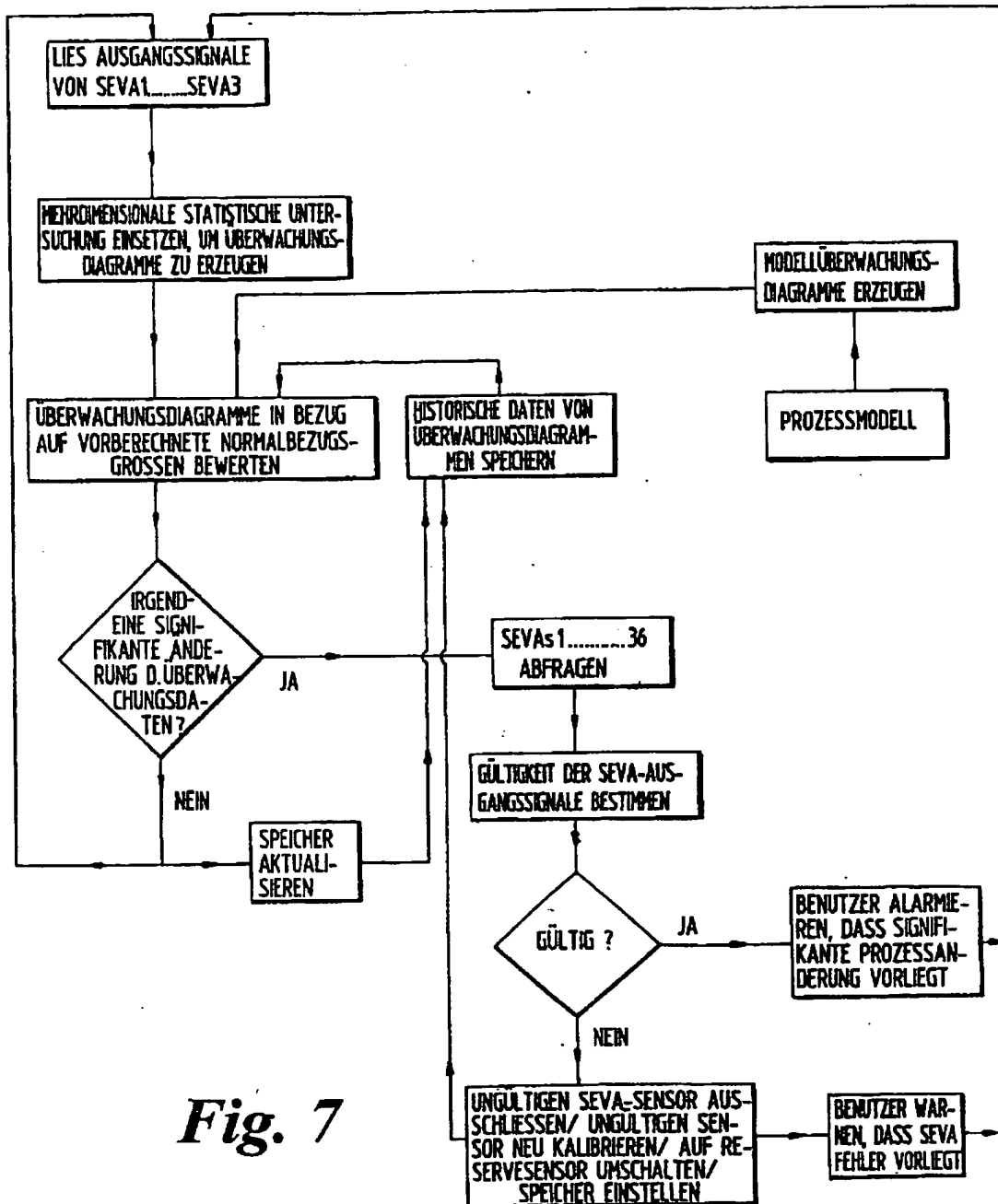


Fig. 7

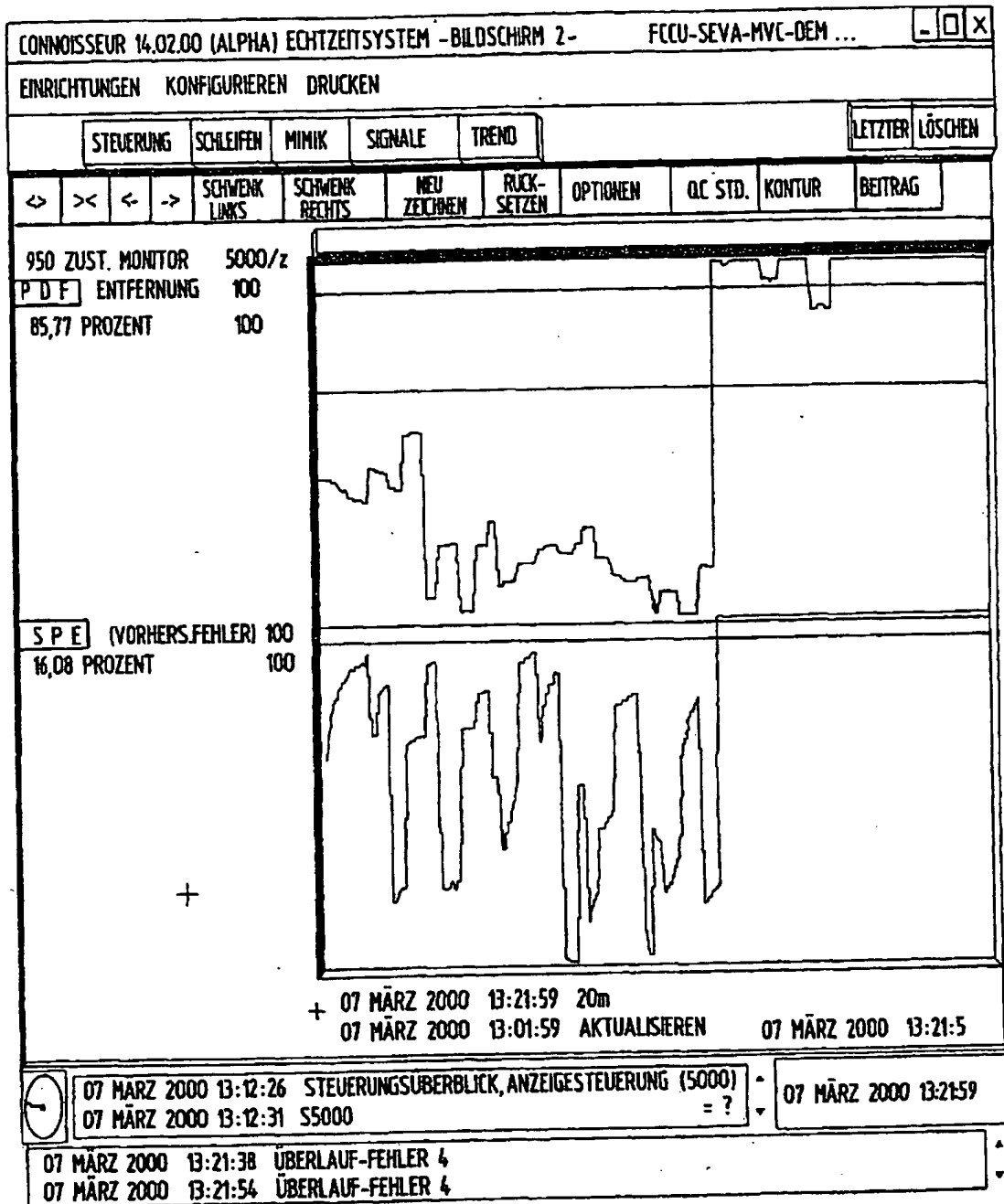


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**